



Quantificação dos Horizontes Húmicos e Dinâmica da Decomposição de Material Foliar em Solos Florestais

Contribuição ao Estudo de Seqüestro de Carbono

Andreia Kindel¹

Irene Garay²

Ciríaca Arcângela Ferreira Santana do Carmo³

Jorge Araújo de Sousa Lima³

Introdução

Os sistemas naturais funcionam como reservatórios de carbono ao retirarem este gás da atmosfera por meio da fotossíntese, transformando-o em biomassa vegetal. Assim sendo, pode-se deduzir que a manutenção da cobertura vegetal, notadamente sob a forma de florestas, constituiria verdadeiros armazéns de carbono. Contudo, por meio da respiração e da decomposição, os sistemas naturais liberam CO₂. Conhecer, portanto, o balanço entre o carbono estocado na biomassa e o perdido por meio da decomposição, é indispensável para quantificar o acúmulo líquido de carbono de um sistema florestal.

O estudo das formas de húmus auxilia a compreensão da dinâmica da decomposição, pois, em ecossistemas florestais, sintetizam as particularidades do processo de decomposição (Green *et al.*, 1993; Kindel & Garay, 2002). Ou seja, a estrutura da matéria orgânica acumulada na superfície do solo, representada por horizontes constituídos de matéria orgânica em diferentes estádios de decomposição, resulta de interações sucessivas entre o aporte da vegetação, os microorganismos e a fauna do solo

e as características pedológicas do horizonte A (Babel, 1975; Green *et al.*, 1993; Berthelin *et al.*, 1994; Brêthes *et al.*, 1995). Uma maior (Mor) ou menor (Mull) acumulação orgânica vai depender destes fatores reguladores. As diferentes formas de húmus representam, portanto, um gradiente de decomposição, que está diretamente correlacionado com o tempo de permanência do carbono no solo (Toutain, 1981; Berthelin, 1994).

Definição de Forma de Húmus

Grande parte da produtividade primária de um sistema florestal maduro, isto é, da quantidade de matéria e energia estocada pelos vegetais, é perdida para o subsistema decompositor (Swift *et al.*, 1979). A variabilidade deste aporte orgânico ao longo do ano e entre os sistemas depende de fatores genéticos e ambientais tais como o regime de distribuição de chuvas e temperaturas, como também da qualidade dos solos. Esta matéria orgânica que cai sobre o solo é formada, sobretudo, por material foliar e, por meio dos diversos processos de decomposição, é gradualmente incorporada ao solo, formando sobre este uma camada de matéria orgânica em diferentes estádios de decomposição.

¹Pesquisadora Associada da Embrapa Solos (bolsista FAPERJ), Rio de Janeiro, Rua Jardim Botânico, 1024, 22460-000, RJ. E-mail: akindel@cnps.embrapa.br.

²Professora Adjunta do Departamento de Botânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. E-mail: garay@biologia.ufrj.br.

³Pesquisadores da Embrapa Solos. E-mail: ciriac@cnps.embrapa.br; jorge@cnps.embrapa.br.

Neste sentido, as formas de húmus podem ser definidas como o padrão morfológico apresentado na superfície dos perfis pela associação entre a matéria orgânica e o material mineral (Ponge, 2003). Serrapilheira, *litter*, perfil húmico, camadas húmicas, horizontes húmicos, tipos de húmus, detritos orgânicos, horizonte O e, ainda, húmus em sentido amplo - em oposição a húmus em sentido restrito ou substâncias húmicas - são termos comumente encontrados na literatura para designar as formas de húmus (Swift *et al.*, 1979; Green *et al.*, 1993).

Assim sendo, além de considerar as folhas inteiras e fragmentadas, as formas de húmus consideram também a matéria orgânica incorporada ao primeiro horizonte pedológico, o horizonte A (Figura 1). Dois tipos de horizontes podem ser distinguidos: um horizonte inteiramente orgânico ou holorgânico, composto por folhas, fragmentos de folhas e matéria orgânica fina, o horizonte O, e outro horizonte organo-mineral ou hemiorgânico, o horizonte pedológico A₁. Os diferentes tipos de formas de húmus têm, então, seu perfil dividido em horizontes, que representam os sucessivos estádios de decomposição do folhicho: horizontes mais profundos correspondem a idades mais avançadas de degradação do material foliar (Babel, 1975).

Na natureza, encontram-se ecossistemas onde o perfil húmico é espesso, indicando uma decomposição lenta, e outros sistemas, onde o perfil húmico é pouco desenvolvido, indicando uma decomposição mais rápida. Quais fatores seriam os responsáveis pela diversidade de formas de húmus encontradas? Primeiramente, as condições climáticas que, além de determinar a presença dos biomas, influenciam o processo de decomposição por meio dos diferentes índices de temperatura, precipitação, umidade e radiação (Swift *et al.*, 1979; Aerts, 1997). As formas de húmus são também influenciadas pelas características próprias de cada local, tais como o tipo de vegetação, sua fenologia, a natureza qualitativa e a quantidade dos aportes, as condições químicas e físicas do solo e o relevo (Toutain, 1981; Kindel & Garay, 2002). Para compreender o funcionamento de uma determinada forma de húmus é necessário, portanto, conhecer:

1. as características quantitativas, fenológicas, morfológicas e químicas do material depositado no solo;
2. a ação específica dos organismos (bactérias, fungos, artrópodos, anelídeos e outros) responsáveis por grande parte da transformação do material orgânico;
3. o papel da fração mineral do solo que induz, direta e indiretamente, a atividade dos organismos decompositores, assim como, as propriedades da matéria orgânica que, paralelamente, atuam nas características dos minerais.

As diversas formas de húmus são, portanto, um reflexo dos diferentes ecossistemas florestais onde são encontrados, servindo para caracterizá-los. Nesta perspectiva, pode-se esperar que perturbações antrópicas, como no caso de florestas secundárias, influenciem a ciclagem de nutrientes e a acumulação de matéria orgânica no solo, ou melhor, o tipo de forma de húmus. Sendo assim, as formas de húmus podem servir como um elemento diagnóstico, pois a presença ou a ausência de determinados horizontes orgânicos do perfil húmico, além de sua quantidade, em relação a um sistema primário, vão servir como indicador do estado do sistema perturbado (Kindel *et al.*, 1999; Kindel & Garay, 2001).

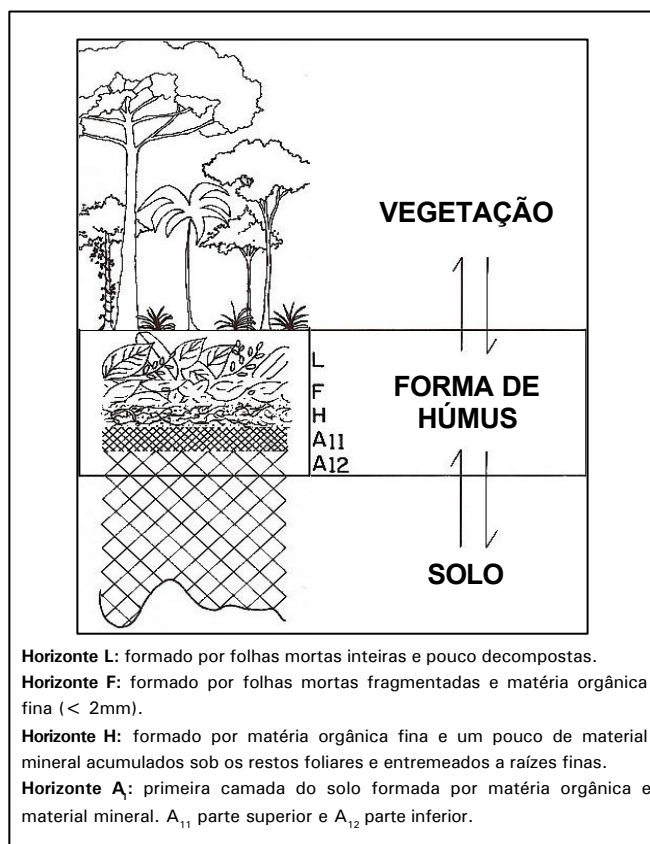


Fig. 1 - Esquema representativo da interação vegetação/solo, destacando-se os horizontes do perfil húmico em diferentes estádios de decomposição.

A metodologia para a caracterização das formas de húmus pode ser empregada em estudos de sistemas agroflorestais, contribuindo para compreender de que forma se dá a reconstituição das camadas orgânicas do solo (os horizontes húmicos), relacionando-as com os parâmetros edáficos (Garay *et al.*, 2003a). Este tipo de estudo não somente traz informações relevantes para atividades de recuperação de áreas degradadas como também, auxilia na compreensão da dinâmica da decomposição, ou seja, de como a matéria orgânica é incorporada ao solo.

Metodologia

Plano de Amostragem

O plano de amostragem para a quantificação do material orgânico que vai ser depositado sobre o solo, bem como da coleta das formas de húmus, depende tanto do objetivo como das características florísticas e estruturais do sistema estudado. A amostragem ao longo de um transecto ou aleatoriamente vão ser as mais adequadas quando se pretende apenas caracterizar a produtividade, a fenologia, o acúmulo orgânico e o tipo de forma de húmus de um determinado ecossistema. As parcelas de estudo devem ser uniformes e representativas da comunidade vegetal. Uma distância mínima entre os pontos de coleta também deve ser respeitada a fim de garantir uma amostragem que abranja a heterogeneidade dos sistemas florestais. Porém, quando o ecossistema é caracterizado por uma estrutura em mosaico, como no caso da organização em moitas da vegetação de Restinga, a amostragem passa a ser realizada por uma escolha aleatória das manchas. Se o objetivo, no entanto, é verificar a influência de determinada espécie em particular, o ideal seria posicionar o coletor e fazer as amostragens das formas de húmus perto desta. No caso de fragmentos florestais, deve-se evitar a borda, caso não se queira estudar seu efeito. Quando em áreas com declive, não se deve esquecer que a topossequência pode influenciar o acúmulo orgânico, o tipo de solo e a distribuição das espécies.

Quantificação do Aporte Orgânico

Este trabalho permite definir o comportamento fenológico do sistema de estudo, além de estimar parte da produtividade do sistema. Para a quantificação do aporte de material orgânico nos sítios de estudo, devem ser instalados coletores feitos em material não degradável (p.ex., sombrite, nylon) e de malha não muito grande (p. ex., 2 mm de abertura) para evitar a perda de material, como folíolos, nem muito pequeno para evitar acúmulo de água dentro do coletor. Os coletores devem permanecer no terreno a uma distância de pelo menos 10 cm do chão e pelo tempo mínimo de um ano. As coletas de aporte orgânico podem ser feitas quinzenalmente ou no período máximo de um mês. As amostras são separadas em seus diferentes constituintes: folhas, material orgânico menor que 2 mm, galhos e estruturas reprodutivas.

Na literatura, encontram-se coletores que podem ser circulares (p.ex.: área de 0,32 m² e 0,7 m², em Villela & Proctor (1999) e Burghouts *et al.* (1992), respectivamente) ou quadrados, que variam de 30,5 x 30,5 cm a 1 x 1 m de área, recobrimo geralmente um hectare ou menos do sistema, com um número amostral que varia entre 5 e 50 coletores, dependendo se for um sistema florestal ou agroflorestal (Bray & Gorham, 1964; Proctor *et al.*, 1983; Morellato, 1992; Louzada *et al.*, 1997; Froufe, 1999; Murbach *et al.*, 2003). O "n" portanto depende do tamanho da parcela de estudo, do sistema estudado e do objetivo do pesquisador.

Estudo das formas de húmus

Cada amostra consiste na coleta de material das camadas holorgânicas e hemiorgânicas do solo, utilizando-se em todos os casos uma unidade amostral conhecida, para permitir a posterior quantificação do material amostrado. Para os restos foliares depositados sobre o solo, horizontes L, F e H, utiliza-se um quadrado de 25 x 25 cm ou de 50 x 50 cm, dependendo da quantidade de material necessária de cada horizonte para a realização de futuras análises químicas. Dando continuidade à amostragem, dentro de cada amostra de onde foram retiradas as folhas (camadas holorgânicas), faz-se a coleta das camadas hemiorgânicas. Desta vez, utilizando-se o mesmo quadrado de 25 cm de lado para o horizonte A₁₁ e um cilindro não maior que 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura para o horizonte A₁₂. A coleta não deve ser feita próxima ao tronco das árvores, a fim de se evitar raízes muito grossas que impeçam a devida coleta do material.

O coeficiente de variação para esse tipo de dado é geralmente alto e varia entre 20 e 40% (independente do "n" amostral ser de 12 ou 16, por exemplo, Kindel *et al.*, 1999; Kindel & Garay, 2002; Garay *et al.*, submetido), devido à grande heterogeneidade espacial apresentada pela matéria orgânica acumulada na superfície do solo, decorrente da micro-topografia do terreno e da estrutura da vegetação. A grande variação no acúmulo orgânico é observada tanto em sistemas florestais primários e interferidos, sendo um pouco menor em agroflorestas. Desta forma, sugere-se um número de amostras por hectare que possa atingir um coeficiente de variação aceitável e que permita conhecer os limites máximo e mínimo de acúmulo. Sem dúvida, um prévio reconhecimento da área é importante para orientar o delineamento amostral do pesquisador, de modo a ajudá-lo na determinação desse número.

Análise dos Horizontes Holorgânicos

A separação dos horizontes holorgânicos (horizonte O), feita em parte no terreno, é completada no laboratório, seguindo-se o sistema proposto por Babel (1975) e Malagon *et al.* (1989). Os horizontes orgânicos, em distintos estádios de decomposição, são separadas da seguinte forma (Figura 2):

L1: as folhas são recém-caídas, não fragmentadas e não apresentam sinais visíveis de alteração.

L2: o folheto não está fragmentado, mas levemente alterado. Isto é evidenciado pela sua completa ou parcial descoloração.

F1: o folheto é composto de fragmentos de fácil identificação e apresenta pequenas quantidades de material orgânico fino (< 2 mm).

F2: é composto de quantidades iguais de folhas mais ou menos fragmentada e material orgânico fino (< 2 mm), entremeada por raízes finas.



Fig. 2 - Horizontes Holorgânicos: (a) horizonte L_1 , (b) horizonte L_2 , (c) horizonte F_1 , (d) fragmentos foliares e (e) matéria orgânica fina (< 2 mm) entremeada a raízes finas, que, dependendo das proporções, constituem o horizonte F_2 ou H.

H: pode estar composto em sua maior parte por matéria orgânica fina (< 2 mm), possuindo ainda pequenas quantidades de folhiço fragmentado ou estar composto, sobretudo, por matéria orgânica fina (livre de restos foliares) com um pouco de material mineral. Neste horizonte a quantidade de raízes é maior que no anterior.

No laboratório, completa-se esta separação, distinguindo-se as distintas frações: fração fina menor que 2 mm e raízes dos diferentes horizontes, estruturas reprodutivas e galhos. Todas as frações são secas a 60°C até atingir peso constante e pesadas.

Os horizontes holorgânicos sejam eles constituídos por restos foliares ou por matéria orgânica fina, como no caso do horizonte H, contêm diferentes proporções de material não orgânico (Figura 3). Assim, para poder comparar as quantidades de matéria orgânica que constituem estes horizontes é preciso eliminar a parte correspondente à fração mineral, estimada aqui pela

porcentagem de cinzas. Essa porcentagem varia de 5 - 10% no horizonte menos decomposto L a 40 - 70% no horizonte H, produzindo-se, desta forma, um aumento relativo da fração mineral à medida que a decomposição dos restos foliares progride.

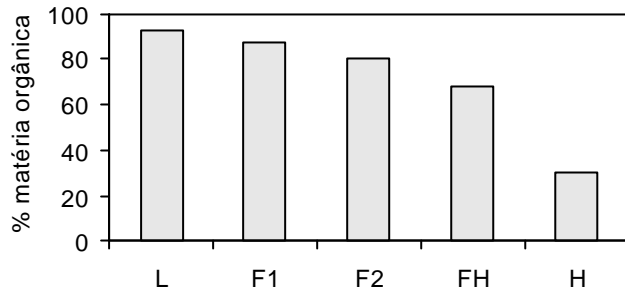


Fig. 3 - Porcentagem de matéria orgânica nos horizontes em diferentes estádios de decomposição. L: horizonte L, F1: horizonte F1, F2: horizonte F2 e FH: fragmentos de folhas aderidos ao horizonte H e H: horizonte H.

A porcentagem de matéria orgânica é estimada para todos os horizontes L, F e H. Depois do material foliar ter sido moído, entre 0,2 e 0,4 g são levados à mufla e queimados a 550°C por quatro horas. Os horizontes L1 e L2 podem ser agrupados para a queima, já que a diferença na porcentagem de matéria orgânica entre os dois é irrelevante. O cálculo da estimativa da porcentagem de matéria orgânica é feito mediante a seguinte fórmula: % Matéria Orgânica = $MO \cdot 100 / PA$, onde MO = peso do cadinho + amostra - peso do cadinho incinerado e PA = peso do cadinho + amostra - peso do cadinho.

Análise dos Horizontes Hemiorgânicos

O material do horizonte correspondente às amostras de solo mineral, ou horizonte A_1 , é subdividido nos horizontes A_{11} e A_{12} segundo Babel (1975) e Garay & Silva (1995).

Horizonte A_{11} - corresponde a um horizonte que varia de 2 a 3 cm de espessura. Por concentrar carbono e nutrientes, este horizonte apresenta uma estrutura menos compactada e uma coloração mais escura que o horizonte A_{12} (Figura 3).

Horizonte A_{12} - corresponde à parte subsequente ao horizonte A_{11} , sendo parcialmente colorido pela matéria orgânica e apresentando uma estrutura mais compacta (Figura 4).

Após serem secados e peneirados, estes horizontes podem ser divididos em duas frações: a fração fina inferior a 2 mm e os agregados do solo. Os agregados podem ser quantificados por via seca como descrito em Embrapa (1997). O solo é, então, submetido a análise de carbono, nitrogênio, fertilidade (pH, H + Al, Ca, Mg, Na, K, P) e granulometria (Embrapa, 1997). As raízes misturadas aos horizontes hemiórgânicos são separadas manualmente e quantificadas após secadas em estufa.



(f)



(g)

Fig. 4 - Horizontes Hemiorgânicos: (f) A_{11} e (g) horizonte A_{12} .

Classificação das Formas de Húmus

Existem diversas classificações de forma de húmus para sistemas florestais temperados: na Europa (Babel, 1975; Delecour, 1980; Duchaufour, 1991; Berthelin *et al.*, 1994; Brêthes *et al.*, 1995; Jabiol *et al.*, 1995), nos Estados Unidos (Wilde, 1966), no Canadá (Green *et al.*, 1993); e sistemas de gramíneas (Barratt, 1964). Todas estas classificações reconhecem basicamente três grandes grupos ou ordens de formas de húmus florestais Mull, Moder e Mor. Essas classificações levam em consideração, basicamente, a presença e a espessura dos horizontes holorgânicos e a estrutura do horizonte A. A classificação de Geen *et al.* (1993), por exemplo, baseia-se no horizonte O, enquanto a de Brêthes *et al.* (1995), na estrutura do horizonte A. Os atributos pedológicos (V%, C/N, pH) são empregados como qualificadores que auxiliam na compreensão funcional da forma de húmus.

Não existe uma classificação brasileira das formas de húmus, portanto, no presente trabalho, escolheu-se reproduzir parte da classificação das formas de húmus desenvolvida pelo grupo da Associação de Estudos de Solo Francês (Association Française pour l'Étude des Sols - Groupe de Réflexion sur la Classifications des Humus) e publicada em Berthelin *et al.* (1994), como segue:

MULL - Caracterizado por um desaparecimento rápido do folhíço, criando-se uma descontinuidade entre as folhas inteiras e o horizonte A_1 (seqüência OL/ A_1 ou OL + OF/ A_1). O horizonte A_1 apresenta complexos argilo-húmicos, evidenciado pela presença de agregados. O mull é biologicamente muito ativo.

Mull eutrófico - O horizonte A_1 apresenta um pH próximo a 5,5, um valor %SB entre 70 e 90%, presença de agregados e relação C/N entre 10 e 15.

Mull mesotrófico - O horizonte A_1 apresenta um pH próximo a 5, um valor %SB entre 20 e 70%, presença de alguns agregados e relação C/N entre 12 e 15.

Mull oligotrófico - O horizonte A_1 apresenta um pH da ordem de 4,5, um valor %SB inferior a 20, pouca estrutura e relação C/N entre 15 e 20.

MODER - Caracterizado por uma passagem progressiva entre os horizontes holorgânicos e o horizonte A_1 (seqüência OL + OF + OH/ A_1). Verifica-se a ausência de um verdadeiro complexo argilo-húmico, existe, no caso, justaposição da partícula orgânica e mineral. O moder é biologicamente menos ativo que o mull.

Eumoder - Horizonte H pouco desenvolvido (< 1 cm) e horizonte A_1 com pH entre 4 e 5, %SB inferior a 20 e relação C/N próximo a 20.

Dysmoder - Horizonte H mais desenvolvido (> 1 cm) e horizonte A_1 com pH entre 3,5 e 4,5, um valor %SB inferior a 20, pouca estrutura e relação C/N da ordem de 25.

Estudo da Dinâmica da Decomposição

A análise da dinâmica de decomposição é feita nas folhas do aporte e nas folhas dos horizontes holorgânicos, e consta da análise química e física do material foliar, fatores reguladores do processo de decomposição.

Análise Física

A análise física do material foliar é realizada a partir de unidades amostrais dos limbos das folhas, feitas com um cilindro de 1 cm de diâmetro (Garay & Hafidi, 1990). Estas unidades são feitas apenas nas folhas inteiras do horizonte L num total de, no mínimo, 30 unidades por área. Posteriormente, as unidades são secas em estufa a 60°C e pesadas. A partir destes dados de peso, calcula-se o peso específico foliar (PEF), expresso em mg cm⁻², da seguinte forma: $PEF = \text{peso da unidade} / \text{área da unidade (0,7854 cm}^2\text{)}$

O valor do PEF dá uma noção da consistência ou dureza da folha, ou seja, pesos específicos foliares maiores corresponderiam a folhas mais grossas (Garay & Hafidi, 1990; Garay & Rizzini, 2003). Por exemplo, em uma restinga (Rio de Janeiro) observou-se um PEF de 14,3 mg cm⁻², enquanto na Mata Atlântica de Tabuleiro (Espírito Santo) o PEF foi de 7,8 mg cm⁻² (Kindel & Garay, 2002). O peso específico foliar é um índice de esclerofilia sendo, de

modo geral, positivamente correlacionado com o conteúdo de lignina e negativamente com o teor de nitrogênio (Medina *et al.*, 1990; Garay & Rizzini, 2003). A consistência esclerótica é resultado da anatomia foliar, como a presença de cutículas grossas, a presença da epiderme externa da parede celular e de abundante esclerificação, particularmente dos vasos. Estas características elevam o PEF das folhas (Turner *et al.*, 1993; Turner, 1994).

Análise Química

O material que constitui os diferentes horizontes (L, F e H) são moídos e analisados quanto ao conteúdo de carbono, nitrogênio, podendo-se também analisar os nutrientes, segundo métodos descritos em Carmo *et al.* (2000). A relação C/N, que é um índice de qualidade foliar, deve ser calculada. Havendo interesse outras análises podem ser feitas: fenóis, lignina etc.

Cálculo do Índice de Decomposição

A relação entre os dados de aporte e os de estoque de matéria orgânica dos horizontes holorgânicos possibilita o cálculo do coeficiente de decomposição " $K = I/X$ " (Olson, 1963), que é uma estimativa da proporção da decomposição, já que o acúmulo de matéria orgânica sobre o solo (X) é decorrente da diferença entre o input anual (I) e a perda pela decomposição.

Referências Bibliográficas

- AERTS, R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, Copenhagen, DK, v. 79, p. 439-449, 1997.
- BABEL, U. Micromorphology of soil organic matter. In: GIESEKING, J. E (Ed.) **Soil components**. New York: Springer, 1975. p. 369-473, v. 1 - Organic Components.
- BARRATT, B. C. A classification of humus forms and micro-fabrics of temperate grasslands. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 15, p. 342-356, 1964.
- BERTHELIN, J.; LEYVAL, C.; TOUTAIN, F. Biologie des sols: rôle des organismes dans l'alteration et l'humification. In: BONNEAU, M.; SOUCHIER, B. (Ed.) **Pédologie**. Paris: Masson, 1994. p.143-211, v. 2 - Constituants et propriétés du sol.
- BRAY, J. R.; GORHAM, E. Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research*, London, v. 2, p. 101-157, 1964.
- BRÊTHES, A.; BRUN, J. J.; JABIOL, B.; PONGE, J. F.; TOUTAIN, F. Classification of forest humus forms: a French proposal. *Annales de Sciences Forestières*, Paris, v. 52, p. 535-546, 1995.
- BURGHOUTS, T.; ERNSTING, G.; KORTHALS, G.; DE VRIES, T. Litterfall, leaf litter decomposition and litter invertebrates in primary and selectively logged dipterocarp forest in Sabah, Malaysia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, London, v. 335, p. 407-416, 1992.
- CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. A.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41 p. (Embrapa Solos. Circular técnica; 6).
- DELECOUR, F. Essai de classification pratique des humus. *Pédologie*, Gent, Bélgica, v. 30, p. 225-241, 1980.
- DUCHAUFOR, P. **Pédologie, sol, végétation, environnement**. Paris : Masson, 1991. 289p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FROUFE, L. C. M. Decomposição de serapilheira e aporte de nutrientes em plantios puros e consorciados de *Eucalyptus grandis* Maiden, *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Acacia mangium* Willd. 1999. 73p. Dissertação - Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- GARAY, I.; HAFIDI, N. Study of a mixed forest litter of hornbeam (*Carpinus betulus*) and oak (*Quercus sessiliflora* Smith). III. Organization of the edaphic macroarthropod community as a function of litter quantity. *Acta OEcológica*, Paris, v. 11, p. 1-18, 1990.
- GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A.A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, p. 705 - 712, 2003.
- GARAY, I.; SILVA, B. A. O. Húmus florestais: síntese e diagnóstico das interrelações vegetação/solo. In: ESTEVES, F. (Ed.) **OEcológica Brasiliensis: estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1995. p.19-46.
- GREEN, R. N.; TROWBRIDGE, R. L.; KLINKA, K. Towards a taxonomic classification of humus forms. *Forest Science Monograph*, Washington, v. 29, p. 1-48, 1993.
- JABIOL, B.; BRÊTHES, A.; PONGE, J. -P.; TOUTAIN, F.; BRUN, J. -J. L'Humus sous toutes ses formes. Nancy: Ecole Nationale du Genie Rural, 1995. 63 p.
- KINDEL, A.; BARBOSA, P. M. S.; PÉREZ, D. V.; GARAY, I. Efeito do extrativismo seletivo de espécies arbóreas da Floresta Atlântica de Tabuleiros na matéria orgânica e outros atributos do solo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, p. 465-474, 1999.
- KINDEL, A.; GARAY, I. Caracterização de ecossistemas da Mata Atlântica de Tabuleiros por meio das formas de húmus. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, p. 551-563, 2001.
- KINDEL, A.; GARAY, I. Humus forms in ecosystems of the Atlantic Forest, Brazil. *Geoderma*, Amsterdam, v. 108, p.101-118, 2002.
- LOUZADA, M. A. P.; CURVELLO, A.; BARBOSA, J. H. C.; GARAY, I. O aporte de matéria orgânica ao solo: quantificação, fenologia e suas relações com a composição específica em área de Floresta Atlântica de Tabuleiros. *Leandra*, Rio de Janeiro, v. 12, p. 27-32, 1997.

MALAGON, D.; SEVINK, J.; GARAY, I. Methods for soil analysis. In: Van der HAMMEN, T., MÜELLER-DOMBOIS, D., LITTLE, M. A. (Eds.). **Manual of methods for mountain transect studies**. Comparative studies of tropical mountain ecosystems. Paris: IUBS, 1989. p. 29-40.

MEDINA, E.; GARCIA, V.; CUEVAS, E. Sclerophylly and oligotrophic environments: relationships between leaf structure, mineral nutrient content, and drought resistance in tropical rain forests of the upper Rio Negro region. **Biotropica**, Washington, v. 22, p. 51-64, 1990.

MORELLATO, L. P. Nutrient cycling in two south-east Brazilian forests. I Litterfall and litter standing crop. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 8, p. 205-215, 1992.

MURBACH, M. R.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; SOUZA, E. C. A. Nutrient cycling in a RRIM 600 clone rubber plantation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n. 2, p. 353-357, 2003.

OLSON, J. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Durham, EUA, v. 44, p. 321-331, 1963.

PONGE, J. F. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, EUA, v. 35, p. 935-945, 2003.

PROCTOR, J.; ANDERSON, J. M.; FOGDEN, S. C. L.; VALLACK, H. W. Litterfall, litter standing crop and preliminary observations on herbivory. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 71, p. 261-283, 1983.

RIZZINI, C. M. **Diversidade funcional do estrato arbóreo como indicador do status da biodiversidade em Floresta Atlântica de Tabuleiros (Linhares - ES)**. 2000. 250p. Tese – Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

SWIFT, M. J., HEAL, O. W., ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1979. 372p.

TOUTAIN, F. Les humus forestiers. Structures et modes de fonctionnement. **Revue Forestiere Francaise**, Nancy, v. 33, p. 449-477, 1981.

TURNER, I. M.; CHOONG, M. E.; TAN, H. T.; LUCAS, P. W. How tough are sclerophylls? **Annals of Botany**, London, v. 71, p. 343-345, 1993.

TURNER, I. M. Sclerophylly: primarily protective? **Functional Ecology**, Oxford, v. 8, p.185-206, 1994.

VILLELA, D. M.; PROCTOR, J. Litterfall mass, chemistry, and nutrients retranslocation in a monodominant forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. **Biotropica**, Washington, v. 31, n. 2, p. 198-211, 1999.

WILDE, S.A. A new systematic terminology of forest humus layers. **Soil Science**, Baltimore, EUA, v. 101, p. 403-407, 1966.

Comunicado Técnico, 21

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Solos
Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024 Jardim Botânico
Fone: (21) 2274.4999
Fax: (21) 2274.5291
E-mail: sac@cnps.embrapa.br

1ª edição

1ª impressão (2003): 300 exemplares

Expediente

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*.
Revisão Bibliográfica: *Cláudia Regina Delaia*
Revisão de Texto: *André Luiz da Silva Lopes*
Tratamento das Ilustrações: *Rafael Simões B. Fernandes*
Editoração eletrônica: *Rafael Simões B. Fernandes*